



شبیه سازی تاثیر ضربه سرعت بالا یک جسم صلب استوانه ای در ورق کامپوزیت شیشه و مقایسه آن با ورق کامپوزیت گرافیت اپوکسی

محمود غلامی^{۱*}

*۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی مکانیک، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۱۴۰۰-۲-۲۷: تاریخ پذیرش ۱۴۰۰-۲-۱۸: تاریخ دریافت

چکیده: کامپوزیت شیشه ای یکی از روش های مقاوم سازی و ترمیم و تقویت انواع سازه ها می باشد. در این نوع کامپوزیت ها الیاف تقویت کننده کامپوزیت الیاف شیشه هستند که این الیاف سازگار با انواع ماتریس ها از جمله رزین اپوکسی، رزین ونیل استر، رزین فنولیک و..... جهت تشکیل کامپوزیت را دارد. از مزایای الیاف شیشه می توان به قیمت پایین، مقاومت مکانیکی بالا، مقاومت کشش بالا، پایداری شیمیایی، مقاومت حرارتی و همچنین در برابر خوردگی می باشد. بالا اشاره نمود. به همین منظور این الیاف کاربرد های زیادی در صنایع هوافضا، خودروسازی و صنایع نظامی دارد. یکی از مهمترین کاربردها این نوع الیاف استفاده در سازه های انواع اجسام پرنده می باشد. لذا در این پژوهش به بررسی استحکام ورق گلس/اپوکسی نوع e، میزان جذب انرژی تا لحظه گسیختگی و همچنین میزان بیشترین تنش فون میسر وارد شده به آن بر اثر برخورد یک ضربه زننده جسم صلب و بدون ضخامت با سرعت ۸۸ متر بر ثانیه خواهیم پرداخت. سپس با اعمال شرایط یکسان حد بالستیکی و موقعیت ضربه زننده به هدف، برای یک ورق گرافیت/اپوکسی و مقایسه با نتایج بدست آمده از ورق شیشه/اپوکسی اقدام خواهیم نمود. برای بررسی شکست و آسیب در کامپوزیت ها از معیار آسیب هاشین استفاده شده است. برای صحت سنجی نتایج بدست آمده از مدل شبیه سازی شده در آباکوس، مقدار انرژی های داخلی ورق، انرژی کل و انرژی کرنشی را با نتایج شبیه سازی شده با نرم افزار المان محدود آباکوس (که از یک مقاله مرتبط استخراج شده) مقایسه مقایسه و اعتبار سنجی شده است.

واژه های کلیدی: المان محدود، آباکوس، الیاف شیشه، الیاف گرافیت، استحکام، اجسام پرنده.

۱. مقدمه

در دنیای امروز استفاده از ورق های کامپوزیتی در صنایع به امری اجتناب ناپذیر تبدیل شده است به نحوی که کاربرد آنها روز به روز در صنایع هواپیما سازی، خودرو، هوافضا، کشتی سازی و..... رو به افزایش می باشد. کامپوزیت ها با داشتن انواعی از خواص گوناگون نیاز بسیاری از صنایع که استحکام بالا در برابر حرارت، خوردگی و جذب انرژی مدنظرشان است را به خوبی مرتفع نموده اند. الیاف شیشه با داشتن خواص منحصر به فردی مانند قیمت پایین و مقاومت بالا در برابر حرارت گزینه مناسبی بمنظور استفاده به عنوان عایق های فدا شونده در یک محفظه احتراق می باشن.

خدادادی و همکارانش بررسی خود را در خصوص عملکرد بالستیکی چندلایه های کامپوزیتی دو و چهار لایه ساخته شده از پارچه کولار و رزین اپوکسی مورد بررسی قرار دادند. نمونه ها با استفاده از روش لایه گذاری دستی ساخته شده و تحت آزمایش ضربه بالستیک قرار گرفت. حد بالستیک و انرژی جذب شده، به عنوان معیاری از عملکرد بالستیکی صفحات کامپوزیتی ارزیابی گردید. آزمایشها با استفاده از پرتابه استوانه‌های سرکروی و در محدوده سرعت ۱۲۰-۲۰ متر بر ثانیه انجام شد. نحوه خرابی و شکست نمونه های کامپوزیت مورد ارزیابی قرار گرفت [۱]. همچنین آذرافزا به بررسی تحلیل دینامیکی پوسته های استوانه‌های کامپوزیتی تحت ضربه مایل سرعت پایین توسط یک ضربه زننده کروی پرداخته است. معادلات حرکت بر اساس تئوری کلاسیک پوسته و با استفاده از روش نیوتن استخراج شده اند. شرایط مرزی پوسته دو سر ساده در نظر گرفته شده است. مؤلفه های جابه‌جایی با توجه به شرایط مرزی به صورت بسط سری فوریه دوگانه نوشته شده‌اند. برای بدست آوردن فرکانس طبیعی و پاسخ پوسته استوانه‌های تحت بارگذاری ضربه سرعت پایین، معادلات حرکت با استفاده از روش توابع وزنی گالرکین حل شده‌اند [۲]. دولو به بررسی تلفیق مناسب از موادی که خواص مطلوب را فراهم میکنند پرداخته است. در این پژوهش اثر ضخامت کامپوزیت ها، کسر حجمی الیاف شیشه یک جهتی، الیاف شیشه سوزنی و همچنین اثر ترکیب الیاف شیشه یک جهتی (تقویت کننده در یک جهت) و الیاف شیشه سوزنی (تقویت کننده در جهات مختلف) با ساختار هندسی متفاوت جهت تعیین ویژگی های مکانیکی کامپوزیت ها مورد مطالعه قرار گرفته است. نتیجه های به دست آمده نشان داد ترکیب کردن دو نوع الیاف شیشه یک جهتی و سوزنی، موجب کاهش ویژگی های مکانیکی کامپوزیت در مقایسه با کامپوزیت های تهیه شده با الیاف شیشه یک جهتی شده، اما در مقایسه با کامپوزیت های تهیه شده با الیاف شیشه سوزنی ویژگی های مکانیکی بالاتری را نشان می دهد [۳]. رحمانیان به بررسی چند لایه ای الیافی- فلزی که نوعی از کامپوزیت های هیبریدی هستند پرداخته است.

در این مقاله با استفاده از نرم افزار آباکوس رفتار ضربه با سرعت بالا به ورق گلیر را بررسی کرده و به مقایسه با ورق کامپوزیت پرداخته است. لایه های فلزی از جنس آلومینیوم T3-2024، که در بین انواع آلومینیوم بهترین عملکرد را در برابر ضربه دارا می باشد، و لایه گلس/اپوکسی که از الیاف شیشه نوع E ساخته شده [۴]. ابرات بررسی مدلی برای تحلیل ضربه به سازه های کامپوزیتی انجام داده است. وی در این مقاله به تحلیل مدل ریاضی برای تماس های مکانیکی، مدل موازنه انرژی، تاثیر بر صفحات کامپوزیتی محدود و در نهایت مدل جرم و فنر پرداخته است [۵]. هدایتیان به بررسی رفتار بالستیک کامپوزیت های مشبک استوانه ای به روش تجربی پرداخته است. در این تحقیق، سازه به شیوهی پیچش الیاف به روش جایگذاری دستی ساخته شده است. به منظور تست ضربه های سازه از تفنگ بادی استفاده شده است و در هر آزمون سرعت های ورودی و خروجی پرتابه ثبت شده است. نتایج نشان میدهند که وجود ریب های مجزاء مانع نفوذ آسیب از یک سلول به سلول مجاور میشود و سازه در سرعت نزدیک به حد بالستیک نسبت به سرعت های بالاتر رفتاری متفاوت از خود نشان میدهد. این معنا که با نزدیک شدن به ریبها به دلیل افزایش موضعی سفتی سازه سرعت حد بالستیک افزایش مییابد [۶].

در این پژوهش به بررسی ضربه سرعت بالا بر روی پنل کامپوزیتی پلیمری غیر هیبرید و هیبریدی پرداخته شده است. در ابتدا پس از معرفی انواع بارگذاری ضربه، تئوریهای مورد استفاده در خصوص ارزیابی آسیب و مقایسه آنها، با استفاده از تئوری ماترنمیلر، به پیش بینی آسیب پرداخته شده است. در این تئوری برای ارزیابی دقیق تر تخریب، تنش برشی در ناحیه الاستیک به صورت غیرخطی در نظر گرفته شده است [۷]. به بررسی عملکرد ضربه بالستیک به اهداف کامپوزیتی پرداخته است. در طول رویداد برخورد بالستیک، انرژی از دست رفته توسط پرتابه توسط هدف مرکب از طریق مکانیسم های مختلف جذب انرژی

جذب می شود. فشرده سازی هدف مستقیماً زیر پرتابه ، فشرده سازی در منطقه پیرامون ناحیه تحت تأثیر ، کشش و شکست کششی نخ ها و لایه ها در منطقه شامل نخ های اولیه ، تغییر شکل کششی نخ ها/لایه ها در منطقه متشکل از نخ های ثانویه ، لایه لایه شدن ، ترک خوردگی ماتریس و اصطکاک بین پرتابه و هدف مکانیسم های جذب انرژی هستند. علاوه بر این ، تغییر شکل مخروطی در قسمت پشتی هدف و انرژی جذب شده توسط مخروط متحرک از ویژگی های خاص کامپوزیت های نازک است در حالی که انرژی جذب شده توسط اتصال برشی هدف ، ویژگی خاص کامپوزیت های ضخیم است [۸].

این پژوهش نیز به بررسی برخورد یک جسم استوانه ای صلب به ورق شیشه/اپوکسی پرداخته و سپس مقادیر انرژی بدست آمده در اثر برخورد سرعت بالای همان جسم استوانه ای صلب به ورق گرافیت/اپوکسی توسط حلگر اجزا محدود اباکوس، بدست آورده و با هم مقایسه شده اند.

۲. خواص کامپوزیت شیشه/اپوکسی و کامپوزیت گرافیت/اپوکسی

الیاف های شیشه و گرافیت در هر لایه به صورت تک جهته و چیدمان آن ها به ترتیب ۰/۹۰/۰/۰۹۰/۹۰ درجه هستند. با توجه به اینکه از کامپوزیت ها در ورق ها استفاده شده در نتیجه معیار شکست برای آن ها از هاشین استفاده شده است که خواص آنها به ترتیب در جدول ۱ برای شیشه/اپوکسی [4] و همچنین جدول ۲ گرافیت/اپوکسی [9] آورده شده است.

جدول ۱_ خواص مکانیکی کامپوزیت شیشه/اپوکسی

مقدار	علائم	خواص مکانیکی /واحد
2040	ρ	چگالی (kg/m^3)
۰,۰۹	u12	ضریب پواسون
۰,۳	u13	
۰,۳	u23	
28	E1	مدول یانگ (Gpa)
28	E2	
8	E3	
5.32	G12	مدول برشی (GPa)
4.07	G13	
4.07	G23	
۴۱۴	Xt	مقاومت کششی طولی (MPa)
۴۵۸	Xc	مقاومت فشاری طولی (MPa)
۴۱۴	Yt	مقاومت کششی عرضی (MPa)
۴۵۸	Yc	مقاومت فشاری عرضی (MPa)
۱۰۵	S ₁₂	مقاومت برشی طولی (MPa)
۶۵	S ₁₃	مقاومت برشی عرضی (MPa)
۱۰	Gft	انرژی شکست کششی طولی (KJ/m2)
۱,۵۶۲	Gfc	انرژی شکست فشاری طولی (KJ/m2)

۰,۶۲۵	Gmt	انرژی شکست کششی عرضی (KJ/m ²)
۰,۱۴	Gmc	انرژی شکست کششی طولی (KJ/m ²)

جدول ۲- خواص مکانیکی گرافیت/اپوکسی

مقدار	علامت	خواص مکانیکی / واحد
۱۶۲۰	ρ	چگالی (kg/m ³)
۰,۲۸	ν_{12}	ضریب پواسون
۰,۲۷	ν_{13}	
۰,۶۰	ν_{23}	
۱۸۱	E1	مدول یانگ (Gpa)
۱۰,۳	E2	
۱۰,۳	E3	
۷,۱۷	G12	مدول برشی (GPa)
۷,۰۰	G13	
۳,۰	G23	
۱۵۰۰	Xt	مقاومت کششی طولی (MPa)
۱۵۰۰	Xc	مقاومت فشاری طولی (MPa)
۴۰	tY	مقاومت کششی عرضی (MPa)
۲۴۶	Yc	مقاومت فشاری عرضی (MPa)
۶۸	S12	مقاومت برشی طولی (MPa)
۸۲	S13	مقاومت برشی عرضی (MPa)

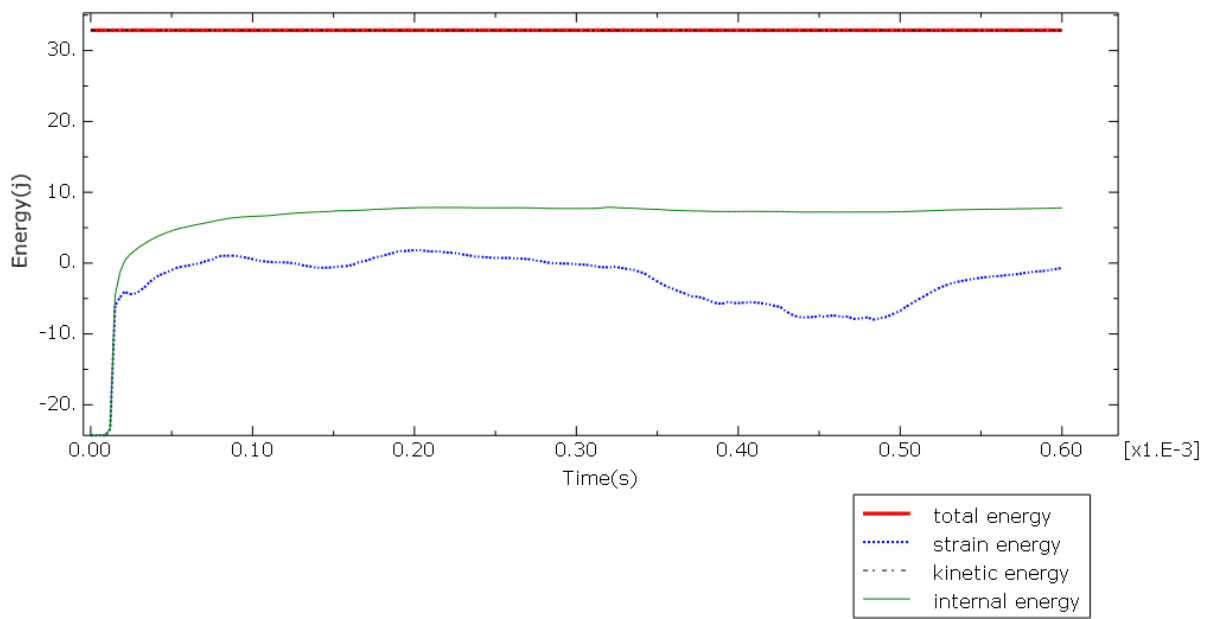
۴۰	Gft	انرژی شکست کششی طولی (KJ/m2)
۶	Gfc	انرژی شکست فشاری طولی (KJ/m2)
۳	Gmt	انرژی شکست کششی عرضی (KJ/m2)
۰,۶	Gmc	انرژی شکست کششی طولی (KJ/m2)

۳. مدل سازی

مدل ایجاد شده، به صورت سه بعدی بوده است. ابتدا هر یک از لایه ها را در ابعاد 100×100 میلیمتر ایجاد کرده و خواص مکانیکی با توجه به جداول ۱ و ۲ به آن ها اعمال شده اند. سپس نمونه را توسط یک فیکسچر نگه داشته میشود در نتیجه ابعاد نهایی ورق مورد تحلیل، 80×80 میلیمتر خواهد شد. قطعه ی برخورد کننده، به صورت جسم صلب در نظر گرفته شده است. برخورد کننده به صورت یک استوانه با شعاع ۵ میلیمتر و ارتفاع ۱۵ میلیمتر است. برای آن که نحوه برخورد به خوبی شبیه سازی شود صفحه های از استوانه که با ورق ها برخورد میکنند، یک فیلت با شعاع ۱ میلیمتر زده میشود. همچنین برای ورق های کامپوزیتی از المان SC8R استفاده شده است.

۴. صحت سنجی

بمنظور صحت سنجی در این پژوهش ابتدا، استوانه جسم صلب را با سرعت ۸۸ متر بر ثانیه مطابق با پژوهش [۴] به صفحه ی کامپوزیت شیشه/اپوکسی (مدل و شبیه سازی شده در نرم افزار المان محدود آباکوس) برخورد داده شده است. در نتیجه مقادیر انرژی جنبشی و انرژی کل بدست آمده توسط حلگر اجزا محدود آباکوس با نتایج شبیه سازی پژوهش [۴] مقایسه شده و نمودار آن ها بر حسب زمان ب مطابق شکل خواهد بود. همانطور که مشاهده می شود، مقادیر انرژی بدست آمده از شبیه سازی با دقت خوبی با نتایج پژوهش مورد نظر منطبق هستند. همچنین مقدار ماکزیمم تنش فون میسز با این سرعت برابر با 620.9MPa بدست آمده که با تقریب مناسبی با پژوهش [۴] که به میزان 664.8MPa می باشند.

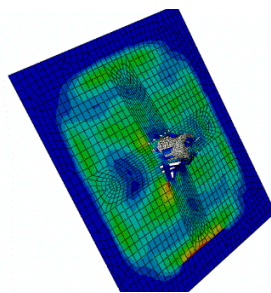


شکل ۱- نمودار تغییرات انرژی بر حسب زمان با سرعت 88m/s

ضمناً شکل ۲ و ۳ نشان دهند میزان تغییر شکل ورق کامپوزیت شیشه و همچنین نحوه برخورد ضربه زننده را نشان میدهد.



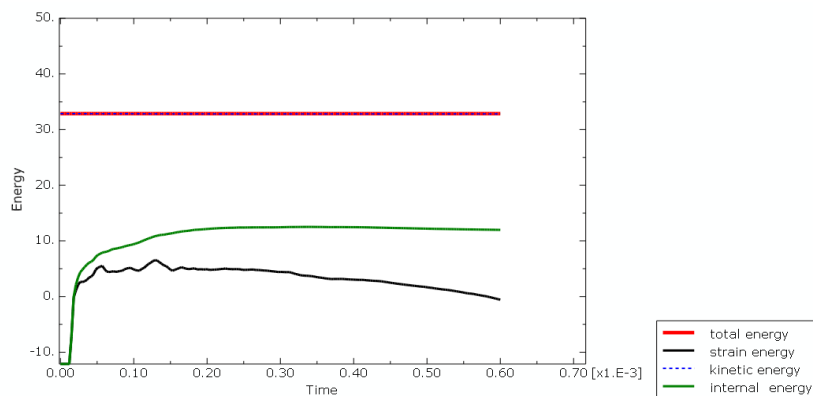
شکل ۲- شماتیک برخورد ضربه زننده به ورق شیشه/اپوکسی



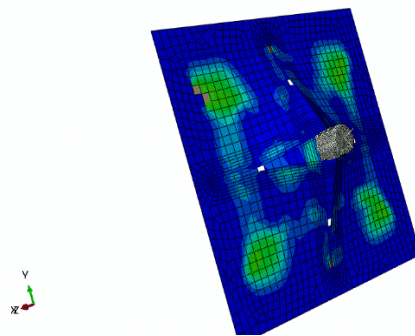
شکل ۳- شماتیک برخورد ضربه زننده به ورق شیشه/اپوکسی

۵. نتایج

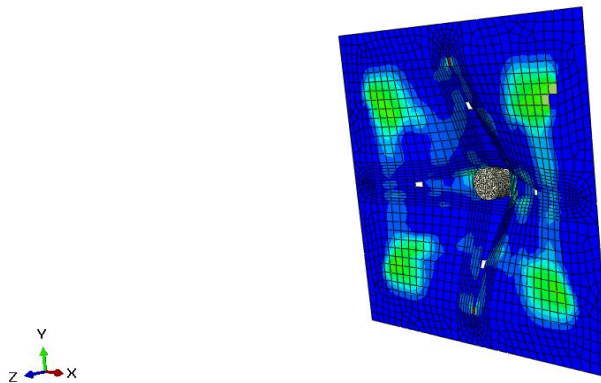
با توجه به اینکه در صحت سنجی دقت مناسبی بدست آمده است، نمودار انرژی برخورد جسم صلب به صفحه کامپوزیتی شیشه/اپوکسی مطابق شکل ۱ بوده و همچنین تغییر شکل صفحه پس از برخورد مطابق شکل های ۲ و ۳ بدست آمده است. برای حالت دیگر مقدار سرعت را هم 88M/S در نظر گرفته شده و خواص مکانیکی حاکم بر آن ها از جدول ۲ استفاده شده است. نمودار های انرژی حاصل از این برخورد مطابق با شکل ۴ و همچنین شکل نهایی پس از برخورد استوانه به آن به ترتیب به صورت شکل های ۶ و ۷ خواهد بود. همچنین ماکزیمم مقدار تنش فون میسر قابل تحمل در کامپوزیت شیشه/اپوکسی و کامپوزیت گرافیت/اپوکسی مطابق با جدول شماره ۳ می باشد.



شکل ۴- نمودار تغییرات انرژی بر حسب زمان



شکل ۵- شماتیک برخورد ضربه زننده به ورق گرافیت/اپوکسی



شکل ۶- شماتیک برخورد ضربه زنده به ورق گرافیت/اپوکسی

جدول شماره ۳- مقدار تنش ماکزیمم

نوع ماده	ماکزیمم تنش (Mpa)
شیشه/اپوکسی	۶۲۰٫۹
گرافیت/اپوکسی	۱۵۰۳

با مقایسه شکل ۳ و ۴ مقدار انرژی جنبشی در ورق گرافیت اپوکسی بیشتر از مقدار انرژی جنبشی در ورق شیشه اپوکسی می باشد. همچنین مقدار انرژی داخلی گرافیت اپوکسی بیشتر از شیشه اپوکسی است. مقدار تنش ایجاد شده در ورق گرافیت اپوکسی حدود ۲٫۴۲ برابر از تنشی که در ورق شیشه اپوکسی ایجاد شده بیشتر می باشد.

۶. نتیجه گیری

در این پژوهش به بررسی برخورد یک استوانه جسم صلب به یک ورق کامپوزیت الیاف شیشه اپوکسی و مقایسه آن با کامپوزیت الیاف گرافیت اپوکسی پرداخته شده است. با محاسبه ی انرژی های محاسبه شده به وسیله ی برخورد یک استوانه با سرعت 88m/s به صفحات فوق در دو کامپوزیت، درمیابیم که صفحات ساخته شده مقادیر انرژی کل آن ها تقریباً برابر بوده است اما میزان تغییرات انرژی جنبشی و انرژی درونی آن ها متفاوت خواهند بود. با توجه به تنش های بدست آمده در ورق های گرافیت اپوکسی انرژی درونی بیشتری تولید شده و ضمناً این ورق از استحکام سازه ای بسیار بالاتری نسبت به ورق های شیشه اپوکسی دارد. همچنین مدت زمان شکست این ورق بیشتر می باشد. با توجه به نتایج فوق و همچنین بررسی های صورت پذیرفته از کامپوزیت های گرافیت/اپوکسی که از استحکام بالاتر و انرژی درونی بیشتری برخوردار است در صنایع مختلف از جمله هوافضا

که نیاز مبرمی به استفاده از مواد سبک مستحکم و مقاوم در برابر انواع نیروها و بارگذاری ها در مباحث سازه ای می باشند، استفاده گردد.

مراجع

- [1] Khodadadi A, Liaghat Gh, Ahmadi H, Bahramian Al, Shahgholian-Ghahfarokhi D, Anani Y, Asemiani S S, "Experimental and numerical analysis of high velocity impact on Kevlar/Epoxy composite plates", In Persian Journal of Science and Technology of Composites, Vol. 6, No. 2, pp. 265-274, 2019.
- [2] Azarafza R, Golkar AR, Davar A , "Analytical investigation of Low-Velocity Oblique Impact on Composite Cylindrical Shells", In Persian Journal of Science and Technology of Composites, Vol. 7, No. 3, pp. 1106-1119, 2020.
- [3] Davallo M , Banaie AR, Mahmoud pour M, Ghane Kiakolaye H, " study on mechanical propertices of the laminated polymer composite based on unsaturated polyester reinforced with combination of unidirectional and chopped strand mat glass fiber", Accepted: November 2011,
- [4] رحمانیان س، گلستان س(۱۳۹۹) شبیه سازی ضربه با سرعت بالا به ورق فلز- کامپوزیت و مقایسه با ورق کامپوزیت. کنفرانس کاربرد کامپوزیت در صنایع ایران
- [5] Abrate S, " Modeling of impacts on composite structures", Department of Technology College of Engineering Southern Illinois University Carbondale, IL 62901-6603, USA, 0263-8223/01/\$ - see front matter Ó 2001 Elsevier Science Ltd. All rights reserved. PII: S 0 2 6 3 - 8 2 2 3 (0 0) 0 0 138-0
- [6] Hedayatian M, Liaghat GH.H, Rahimi GH.H, Pol M.H, Khoshsorour M, " Experimental study on dynamic response of grid cylindrical composite structures under high velocity impact", Modares Mechanical Engineering, Vol. 14, No. 2, pp.41-46, 2014 (In Persian)
- [7] Safarabadi M, Ashkani P, Ganjiani S.M, "Finite element simulation of high velocity impact on polymer composite plates ", In Persian Journal of Science and Technology of Composites, Vol. 05, No. 02, pp. 157-168, 2018.
- [8] Shaktivesh, Nair N.S, Sesa Kumar Ch.V, Naik N.K , " Ballistic impact performance of composite targets *Materials & Design*", Volume 51, October 2013 Pages 833-846
- [9] Autak k kaw , " Mechanics of composite matrials", second edition 2006 .